

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie**

**Studium současných znalostí o tenkých povlacích  
s obsahem nanočástic**

**Study of Contemporary Knowledge about Thin  
Coating with Content of nanoelements**

**Student:  
Vedoucí bakalářské práce:**

**Martin Habich  
doc. Ing. Jitka Podjuklová, Csc.**

**Ostrava 2014**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

## Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Habich**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Téma: Studium současných znalostí o tenkých povlácích s obsahem nanočástic  
Study of Contemporary Knowledge about Thin Coating with Content of  
nanoelements

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte současný stav vývoje tenkých povlaků obsahující nanočástice.
2. Prostudujte vliv nanočástic na vlastnosti tenkých povlaků.
3. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
4. Proveďte experimentální práce a jejich vyhodnocení.
5. Zpracujte technickou zprávu včetně technicko-ekonomického zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.  
BROCK, T., GROTEKLAES, M., MISCHKE, P.: *European Coating Handbook*. Vincentz Verlag, Hannover, Germany, 2000. 410 s. ISBN 3-87870-559-X.

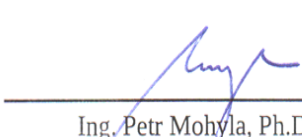
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



  
Ing. Petr Mohyla, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího ročníkové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....  
19.5.2014

.....  
Martin Habich

podpis studenta

### **Prohlašuji, že**

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z jiné strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4. autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě ..... 19.5.2014

..... Martin Habich .....  
podpis studenta

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

HABICH, M.: *Studium současných znalostí o tenkých povlacích s obsahem nanočástic*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2014, 55s. Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Bakalářská práce se zabývá současnými znalostmi o tenkých povlacích s obsahem nanočástic. V teoretické části je popsáno, co to vůbec tenké povlaky s obsahem nanočástic jsou a jejich využití v praxi. Experimentální část se zabývá zkoušením jednoho nátěrového systému na jednom zkušebním vzorku. Nátěru Nano Metal Guard s obsahem nanočástic. Tento nátěrový systém u zkoušek nedokazoval dobré výsledky. Celý návrh metodiky práce a vyhodnocení zkoušek je zaznamenán a zpracován ve formě fotodokumentace, tabulek a grafů.

## **ANNOTATION BACHELOR THESIS**

HABICH, M.: *Study of Contemporary Knowledge about Thin Coating with Content of nanoelements*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2014, 55s. Advisor bachelor thesis: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

The thesis deals with the current knowledge of thin coatings containing nanoparticles. In the theoretical part describes what that thin films containing nanoparticles and their use in practice. The experimental part deals with the testing of one coating system on the one test sample. Coating of Nano Metal Guard containing nanoparticles. This coating system for tests showed good results. The entire design of the methodology of work and the evaluation of the tests is recorded and processed in the form of pictures, tables, and charts.

## Seznam symbolů a značek

Znak	Popis	Jednotka
Fe	železo	[-]
Cu	měď	[-]
Ni	nikl	[-]
Cr	chrom	[-]
Ca	vápník	[-]
Co	kobalt	[-]
Pb	olovo	[-]
Mn	mangan	[-]
Zn	zinek	[-]
Al	hliník	[-]
Au	zlato	[-]
NaCl	chlorid sodný	[-]
FeO	oxid železnatý	[-]
TiO <sub>2</sub>	oxid titaničitý	[-]
ZrO <sub>2</sub>	oxid zirkoničitý	[-]
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	oxid železitý	[-]
SiO <sub>2</sub>	oxid křemičitý	[-]
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	oxid železnato-železitý	[-]
ČSN	Česká státní norma	[-]
EN	Evropská norma	[-]
ISO	Mezinárodní norma	[-]
PVD	Physical Vapour Deposition	[-]
CVD	Chemical Vapour Deposition	[-]
Ra	střední aritmetická odchylka profilu	[μm]
Ry	největší výška nerovnosti profilu	[μm]
Rz	maximální výška profilu	[μm]
Rq	kořenová průměrná čtvereční odchylka profilu	[μm]
Rp	největší výška výstupku profilu	[μm]
Rv	největší hloubka prohlubně profilu	[μm]
Rsk	šířka posuzovaného profilu	[-]

## **Seznam symbolů a značek**

<b>Znak</b>	<b>Popis</b>	<b>Jednotka</b>
$R_{ku}$	špičatost posuzovaného profilu	[-]
$T$	teplota	[°C]
$\lambda_c$	filtr profilu	[-]
$L$	délka měřeného úseku	[mm]

## Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>2. Tvorba ochranných povlaků .....</b>	<b>11</b>
<b>3. Rozdělení povrchových úprav .....</b>	<b>12</b>
3.1 Organické povlaky .....	13
3.2 Anorganické povlaky .....	15
<b>4. Základní předběžné mechanické úpravy povrchů .....</b>	<b>16</b>
4.1 Otryskávání .....	17
4.1.1 Omílání .....	17
4.1.2 Kartáčování .....	18
4.1.3 Broušení .....	19
4.2 Chemické úpravy povrchů .....	19
4.2.1 Odmašťování .....	20
4.2.2 Moření .....	20
<b>5. Nanotechnologie pro vytvoření povlaků .....</b>	<b>21</b>
5.1 Nanomateriály .....	22
5.2 Nanokompozitní povlaky .....	24
5.3 Nanočástice v povlacích .....	25
<b>6. Tenké povlaky .....</b>	<b>28</b>
6.1 Vliv technologie v tvorbě tenkých povlaků .....	30
<b>7. Návrh experimentálních prací .....</b>	<b>32</b>
7.1 Popis experimentálních prací .....	33
7.2 Hodnocení povrchu u vzorku .....	34
7.2.1 Hodnocení prašnosti povrchu dle ČSN ISO 8502-3 .....	34
7.2.2 Stanovení drsnosti povrchu vzorku dle ČSN ISO 4287 .....	35
7.2.3 Korozní zkouška v solné korozní komoře dle ČSN EN ISO 9227 .....	37
<b>8. Provedení a vyhodnocení experimentálních prací .....</b>	<b>38</b>
8.1 Hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502-3 .....	38
8.2 Stanovení drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 9287 .....	38
8.3 Nanesení nátěru na vzorek .....	41
8.4 Korozní zkouška v solné komoře dle ČSN EN ISO 9227 .....	43
8.4.1 Fotodokumentace vzorku v intervalech .....	44



8.4.2 Vyhodnocení degradace nátěru .....	49
<b>9. Ekonomické vyhodnocení .....</b>	<b>51</b>
<b>10. Závěr .....</b>	<b>52</b>
<b>11. Použitá literatura .....</b>	<b>53</b>

## **1. Úvod**

Povrchové úpravy patří k důležitým strojírenským technologiím. Jsou na ně kladeny vysoké nároky k zabezpečení materiálu. Zabezpečují jednak protikorozi ochranu výrobku, jejich vzhled a také upravují a mění funkční vlastnosti. Uplatňováním nové technologie a techniky výroby, vzniká rozpor mezi nároky na nové výrobky a už dostupnými zdroji materiálu a energie. Proto mají nové technologie význam v roli při úspoře materiálu a energie.

Hlavní požadavky na povlaky a nátěry klade jejich snadná aplikace, ekologická nezávadnost a funkčnost. V dnešní době se objevují snad ve všech odvětvích strojírenství, stavebnictví, strojírenského průmyslu, chemického a leteckého průmyslu, ve zdravotnictví, v automobilovém průmyslu. Díky vývoji technologií a techniky výroby, vznikají stále nové nátěry a povlaky, které mají lepší vlastnosti než ty předchozí.

V nanotechnologii se nám objevují stále nové směry. Nové nanomateriály, nanovrstvy, nanočástice, které jdou cestou zmenšování výrobku, vrstev, částic. Například elektronika je v tomto směru hodně vpředu.

Nanotechnologie v nátěrech a tenkých povlácích je velmi složitá, proto se velmi obtížně vyvíjí nové technologie v tomto směru. Částice o velikosti nanometrů nám v nátěrech zlepšují účinky, protikorozi odolnost, odolnost vůči otěrům, odolnost proti stárnutí, odpudivost vody a oleje a hlavně aby měl nátěr za celou svou životnost stále požadované vlastnosti. Nanotechnologie „Nano-svět“ je ještě zcela neprozkoumaná a proto vývoj a výzkum se zaměřuje a míří dál tím to směrem.

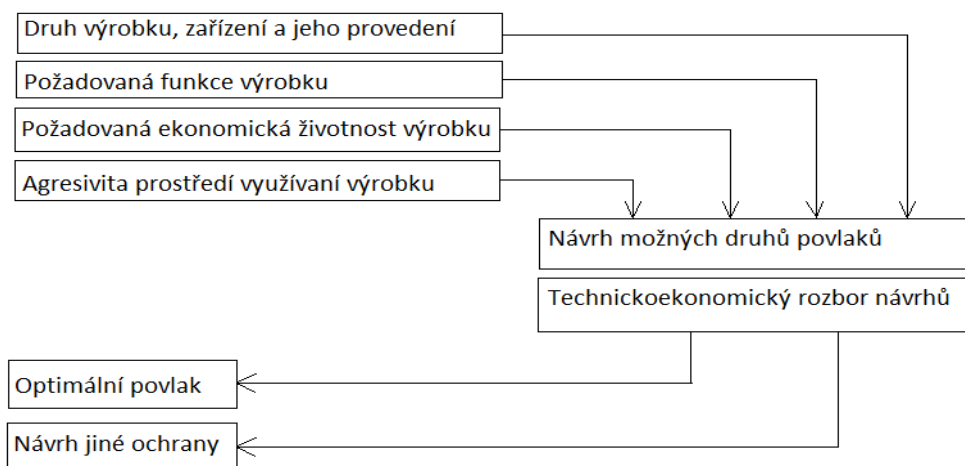
## 2. Tvorba ochranných povlaků

Vytváření povlaků na základním materiálu patří k nejčastějším prostředkům protikorozi ochrany a to i prostředkům, u kterých se mění povrchové vlastnosti výrobku i jeho vzhledu. [1]

Nároky strojírenské výroby na povrchovou úpravu a protikorozi ochranu jsou velmi rozsáhlé a různorodé. Pro jejich splnění se používají pasivní ochrany vytvářením povlaku (jeden typ materiálu v jedné nebo několika vrstvách), povlakových systémů (vytvořeno několika vrstvami materiálu různého druhu, např. Fe – Cu – Ni – Cr, nátěr na vytvořeném povlaku). Uživatelé strojírenských výrobků kladou na technologii povrchových úprav hlavní společný požadavek a to aby vytvořený povlak splňoval po celou dobu životnosti výrobku očekávané funkční, dekorativní i vzhledové vlastnosti. Tato snaha zabránit předčasnému selhání protikorozi ochrany, zvýšit provozní spolehlivost a životnost výrobku vedla k tomu, aby se stanovili hlavní zásady optimalizace. [1]

### Optimalizace protikorozi ochrany

Optimalizace protikorozi ochrany vychází hlavně ze znalostí kinetiky korozních dějů a mechanismu ochranné funkce systému protikorozi ochrany. Při vytváření povlaku je nutné vytvořit optimální povlakový systém a zajistit přímé řízení jeho jakosti. Rámcový postup při návrhu optimálního povlakového systému vyplývá z následujícího obr. 1. [1]



**Obr. 1.** – Rámcový postup při návrhu optimalizace povlakového systému[1]

### **3. Rozdělení povrchových úprav**

V dnešní době jsou známy stovky technologických postupů pro vytváření povrchových úprav, které nám umožňují ve větší nebo menší míře řešit problémy nízké životnosti a spolehlivosti strojních součástí nástrojů a materiálů. Povrchové úpravy můžeme rozdělit na 3 základní skupiny: [1]

- Povrchové vrstvy
- Powlaky
- Duplexní powlaky[1]

Povrchová úprava materiálu je technologický proces, díky tomu dosahujeme zlepšení vlastností povrchu za účelem zvýšení odolnosti proti korozi, zlepšení funkčních vlastností (např. zvýšení odolnosti proti opotřebení, zlepšení třecích vlastností, elektrických vlastností apod.), řešení designu. Dále se povrchové úpravy rozdělují: [1]

Podle účelu dělíme:

- čištění a předběžné úpravy
- povrchové úpravy zvyšující odolnost proti korozi
- povrchové úpravy zajišťující požadovaný vzhled výrobku (design)
- povrchové úpravy pro dosažení specifických funkčních vlastností povrchu[1]

Podle charakteru vytvořené povrchové vrstvy:

- anorganické
  - kovové
  - oxidické
  - keramické, sklovité[1]
- organické
  - nátěrové
  - plastové
  - konservační[1]

Podle způsobu vytvoření povrchové vrstvy:

- chemickými reakcemi
- galvanickými elektrochemickými procesy
- využitím difuzí
- ve vakuu
- chemicko-tepelným zpracování
- máčením, stříkáním, poléváním
- plátování
- atd. [1]

### **3.1. Organické povlaky**

Povlak může být vytvořen jakýmkoliv způsobem, ale každý obsahuje částice molekul a atomů. Tyto prvky mají za úkol, aby daný povlak splnil požadované podmínky ve výrobních procesech. [1]

Patří mezi jedny ze způsobů jak zabránit korozi ocelových výrobků a konstrukcí a tím prodloužit jejich životnost. Ochrana povrchů organickými povlaky je na bázi nátěrových hmot a plastů. Jsou tvořeny z organických látek a po nanesení na povrch materiálu vytvoří požadované vlastnosti. Tyto povlaky (nátěry), chrání základní materiál před škodlivým prostředím pomocí svých pigmentů, které zamezují nebo zpomalují znehodnocení povlaku. [1]

#### **Nátěrové hmoty**

Chrání povrch výrobků a to vytvářením nátěrů. Nátěr je hotový a ucelený ochranný povlak jedné nebo několika vrstev zaschlé nátěrové hmoty na povrchu předmětu. [1]

Rozeznáváme nátěry:

- transparentní (průhledný nátěrový film, nazývá se lak nebo fermež)
- pigmentové (tvoří neprůhledný film, nazývá se email, barva) [1]

Podle účelu nátěru:

- ochranný (olejivzdorný, odolný proti povětrnosti, mořské vodě, vyšší teplotě)
- dekorativní
- signální
- maskovací
- speciální (elektrovodivý, světélkující) [1]

Podle nanášení nátěru:

- štětcem
- stříkáním
- máčením, poléváním[1]

### **Složení nátěrových hmot**

- a) filmotvorné složky (pojiva) jsou to netěkavé látky a svým způsobem nejdůležitější složkou nátěrové hmoty. Tyto složky mají schopnost vytvořit tenkou souvislou vrstvu a vázat disperbované částice pigmentu a plniv v zaschnutém filmu. Jsou různá pojiva a ty se od sebe liší chemickým složením a fyzikálními vlastnostmi. Mezi filmotvorné látky patří vysychavé oleje, přírodní živice, umělé živice, deriváty celulózy, deriváty kaučuku a asfalty. [1]
- b) těkavé složky (rozpouštědla) jsou to látky, které mají schopnost rozpouštět jiné látky. Slouží na rozpuštění pojiva při výrobě nátěrových hmot a na úpravu jejich viskozity (konzistence) v procesu aplikace. Mezi nepoužívanější rozpouštědla patří benzíny, benzen a jeho homology, alkoholy, ketony, estery kyseliny octové, glykolétery a terpentýnové silice. [1]
- c) pigmenty jsou to buď částěčky organické, nebo anorganické, které jsou jemně rozptýleny v pojivě. Nátěrům dodávají barevný odstín, krycí schopnost, tvrdost, snižují stárnutí nátěrů, zvyšují teplotu a korozní odolnost. Dělíme je do 3 skupin: [1]

- neutrální pigmenty (chroman olovnatý, titanová běloba, zinková běloba)
- inhibitorové pigmenty (suřík, zinková žlut', kyanamid olovnatý, zinkový prach)
- stimulující pigmenty (grafit, saze) [1]

- d) plnidla jsou to minerální látky a to jemně rozmleté a nerozpustné v pojivu, které vhodně upravují technologické vlastnosti nátěrových povlaků, např. zabráňují smrštění filmu. Mezi plnidla patří těživec, mastek, křída. [1]
- e) aditiva jsou to přísady do nátěrových hmot a obsahují vysychavé oleje. Najdeme je ve výrobě fermeží olejových a glyptalových nátěrových hmot. Základní složkou jsou kovová mýdla a mezi ně patří ( naftenáty, rezináty, linoleáty s kationty, Ca, Pb, Co, Mn, Zn, atd.) nebo jejich roztoků v organických rozpouštědlech. Mezi aditiva patří sušidla, emulgátory, stabilizátory, zvláčňovadla. [1]

### 3.2. Anorganické povlaky

Mezi anorganické povlaky můžeme zařadit smalty, galvanické povlaky a povlaky vytvářené metodou PVD, CVD. Posledně zmíněné povlaky jsou jedny z nejrozšířenější ve strojním průmyslu a slouží k ochraně kovových součástí za účelem zvýšení životnosti a zlepšení užitných vlastností. V dnešní době se čím dál větší vahou zaměřujeme na vytváření povlaků ekologickou cestou. Mezi ekologické povlaky proto řadíme povlaky vytvořené ve vakuu - PVD,CVD. (anotace z bakalářky) [1]

#### Anorganické povlaky – smalty

Smalt je sklo, jeho složení je upravené pro nanesení na kov. Předností smaltů je hladký nepórovitý povrch, ten umožňuje jeho dokonalé čištění a uchování bez úsad a nánosů, vysokou tvrdost, odolnost vůči otěru, vysokou pevnost v tlaku, barevná stálost, odolnost vůči zvýšeným teplotám až 400 °C. Nevýhodou smaltového povlaku je jeho křehkost, ale hlavní nevýhodou smaltových povrchů je snadné mechanické poškození a nemožnost kvalitních oprav poškozeného místa, na kterém dojde k intenzivnímu koroznímu poškození. Za to drobné vady smaltu lze opravit tantalovými nýty. [1]

**Anorganické povlaky – PVD**

PVD je povlakování tzv. dekorativními vrstvami, které jsou velmi dokonalé a napodobují zlato nebo mosaz, mají i jinou atraktivní barvu. Tyto povlaky dokážou mít dlouhodobě stálý vzhled a to díky jejich vysoké tvrdosti zabraňující otěry a odolnost proti korozi. Uplatnění těchto povlaků je například při výrobě koupelnových baterií, nábytkové kování, hodinek, bižuterie a jiné. [1]

**Anorganické povlaky – CVD**

CVD je starší z uvedených metod. Postup při tomhle povlakování je takový, že se předmět (substrát) ohřeje ve směsi vhodných plynů. Nevýhodou tohoto povlakování je udržování substrátu na teplotě nutné pro rovnovážnou chemickou reakci dávající vzniknout vrstvě. Modifikace této metody je plazmová polymerace, která umožňuje z plynných uhlovodíků nanášet polymerní vrstvy velmi zajímavých vlastností a to (např. bariérové vrstvy odolné proti difuzi anebo otěruvzdorné vrstvy). [1]

**4. Základní předběžné mechanické úpravy povrchu**

Před vytvořením kvalitního ochranného povlaku musíme materiál pořádně očistit a připravit pro nanesení povlaku. Mezi mechanické úpravy patří tryskání, omílání, broušení, kartáčování a leštění. Účelem těchto úprav je: [2]

- očištění povrchu materiálu (odstranění okují, rzi)
- vytvoření kvalitních podmínek pro nanesení povlaku
- zlepšit mechanické vlastnosti (zvýšit pevnost, mez únavy)
- vzhledový požadavek (design) [2]



## 4.1 Otryskávání

Tato metoda je založena na vrhání tryskacího materiálu velkou rychlostí proti povrchu součásti. Díky tomu dochází k odtrhávání původního materiálu a hlavně nečistot. Tím pádem vzniká tak zvaně charakteristická morfologie povrchu. Na charakteristiku mikrogeometrie má vliv tvar tryskacího tělesa ale také vliv druhu tryskacího materiálu, tvrdost, zrnitost, tvar zrna a hmotnost zrna. [2]



*Obr. 2. – Tryskací materiál, Sekaný drát a křemičitý písek [8,9]*

### 4.1.1 Omílání

Omíláním upravujeme povrchy malých předmětů a to vzájemným se otíráním předmětů, omílajících těles, brusiva a kapaliny, a to vše v otáčejícím se bubnu nebo zvonu. [2]

**Omílání se používá pro:**

- odjehlování výrobku
- leštění výrobku
- odstranění zbytku tavidel po svařování
- odstranění zbytků korozních zplodin
- zpevnění povrchu [2]



**Obr. 3.** – *Vibrační omílací stroj CB 200 [10]*

#### **4.1.2. Kartáčování**

Kartáčování se používá k odstranění hrubých nečistot, např. rzi, starých nátěrů apod. a to převážně ručně za pomoci kartáče s ocelovými dráty. Působení energie má při kartáčování za následek buď zjemnění povrchu anebo zdrsnění. Jako metodu poslední se před nanesením povlaku na povrch materiálu nedoporučuje, protože nelze dokonale odstranit nečistoty, což způsobí malou životnost a znehodnocení povlaků. [2]



**Obr. 4.** – *Drátěný ocelový kartáč [11]*

### 4.1.3. Broušení

Broušením dosáhneme požadované drsnosti povrchu. Jedná se o třískové obrábění. Nejpoužívanější při broušení jsou brusné kotouče, které zvyšují efektivnost a produktivitu celého broušení. Broušení rozdělujeme na hrubé a jemné, podle toho jestli používáme hrubozrnné brusivo nebo jemnozrnné brusivo na kotoučích. Díky broušení můžeme dosáhnout drsnosti povrchu od 0,4 do 0,2 Ra. [2]



*Obr. 5. – Brousící kotouče z abrazivního rouna (Scotch-Brite) [12]*

## 4.2. Chemické úpravy povrchu

Na povrchu materiálu, na který chceme nanést povlak, se zachycují nejen hrubé nečistoty, ale také i provozní mastnoty. Ty nemůžeme odstranit mechanicky, a proto musíme volit chemickou úpravu. Chemické metody jsou založeny na principu reakce činidel s nečistotami. Základními a nejpoužívanějšími metodami chemické úpravy povrchu jsou metody: [2]

- odmašťování
- moření

### **4.2.1. Odmašťování**

Chemická úprava povrchu odmašťování, slouží k odstranění hrubých a jemných nečistot. Např. (petrolej, nafta, mastné kyseliny, vosky, oleje a vazelína). Všechny tyto mastnoty nelze odstranit jedním prostředkem. Například minerální mastnoty (oleje, vazelíny, vosky) se odmašťují obtížněji, protože se nezmýdelňují. U minerálních olejů odmašťování probíhá teprve při zvýšené teplotě a tím se emulgují ve formě drobných kapiček do roztoku odmašťovadla. [2]

### **4.2.2. Moření**

Mořením odstraňujeme oxidické nečistoty (rez, okuje) chemickým způsobem z povrchu kovů. Díky kyselině a louhu se oxidy převedou na rozpustné soli, které se poté z povrchu opláchnou vodou. Nejčastěji se používá kyselina sírová, kyselina solná a kyselina fosforečná. [2]

#### **Zvláštní způsoby moření:**

- moření v párách chlorovodíku
- moření v taveninách

Po zvláštních metodách je nutné zavést oplach teplou i studenou vodou a to proto, abychom snížili reaktivitu povrchu s okolím tak zvaně pasivace. [2]

## 5. Nanotechnologie pro vytvoření povlaků

Obecně nanotechnologií označujeme jako vědní obor výzkumu a vývoje, která se zabývá vytvářením a využíváním materiálu se strukturou v měřítku nanometrů a to alespoň v rozměru (0,1-100nm). [3]

Nanotechnologie a nanomateriál má široké spektrum oblastí pro využití. Obecně se dá říct, že se týká všeho, co je kolem nás. Nanotechnologie sice patří k novým vědním disciplínám, ale některé její metody uměl člověk používat už mnohem dříve, aniž by si je uvědomoval. Patří mezi ně techniky využití nanočástic. V současnosti se nejvíce dotýká a realizuje v oblasti materiálů, chemie, zdravotnictví, informační a komunikační technologie, energetiky a péče o životní prostředí. Mezi konstrukční prvky nanotechnologie patří molekuly a dokonce i samotné atomy. [3]

Využití této technologie je v současné době velmi rozsáhlé, nalézají uplatnění v mnoho oblastech našeho běžného života jako je třeba elektronika (kvantová elektronika, paměťová média, spintronika, bioelektronika), dále v zdravotnictví (umělé klouby, chlopně, náhrady tkání, desinfekční roztoky nové generace, analyzátory, ochranné roušky), ve strojírenství (samočisticí nepoškrabatelné laky, obráběcí nástroje, supertvrdé povrchy s nízkým třením), stavebnictví (nové izolační materiály, antiadhézní obklady, samočisticí fasádní nátěry), v chemické průmyslu (nanokompozity, nanotrubice, selektivní katalýza, aerogely), v textilní průmyslu (nemačkávé, hydrofobní a nešpinící se tkaniny), elektrochemický průmysl (fotomateriály, vysokokapacitní záznamová média, palivové články), v optickém průmyslu (integrovaná optika, optické filtry, fotonické krystaly a fotonické vlákna), automobilový průmysl (nesmáčivé povrchy, filtry čelních skel), v kosmickém průmyslu (katalyzátory, odolné povrchy satelitů), vojenský průmysl (nanosenzory, konstrukční prvky raketoplánů), a také v životním prostředí (značkování potravin, odstraňování nečistot, biodegradace). [3]

Svět nanotechnologie lidé objevili teprve v polovině 20. století, na rozdíl od přírody, která toto tajemství zná a používá už celá tisíciletí při tvorbě živé a neživé přírody. V nanorozměrech probíhá většina životních procesů. Díky tomu se stává příroda nesmírně

bohatým zdrojem inspirace, a proto jsme zaměřili svůj zájem na vytváření struktur podobných vlastnosti, které můžeme uplatnit v běžném životě. Dokonalým příkladem takových přírodních nanotechnologií může být třeba biomineralizace nebo stavba chromozomu s molekulami DNA, která slouží jako velkokapacitní paměť nanometrických rozměrů. [3]

### **Cíle nanotechnologie**

Mezi cíle nanotechnologie patří tvorba miniaturních struktur a to částic ze stavebnice periodické soustavy prvků, která slouží k výrobě látek a materiálů s novými vlastnostmi, při výrobě miniaturních strojů a celých systémů. [3]

## **5.1. Nanomateriály**

Nanomateriály se především využívají ve formě nanoprášků. Například se jedná o nanoprášky jako je  $\text{TiO}_2$  (Oxid titaničitý) a nebo  $\text{ZrO}_2$  (Oxid zirkoničitý) používané v kosmetických krémech, opalovacích krémech a plet'ových maskách. Pomocí přísady nanočástic  $\text{TiO}_2$  (Oxid titaničitý) se vyrábějí laky s reflexními vlastnostmi. Dále třeba výrobci skel používají  $\text{TiO}_2$  (Oxid titaničitý) v podobě nanočástic pro optimální zatmavení. Toto sklo je potom dokonce schopné odrážet dobře sluneční paprsky. [3]

Třeba nanočástice  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Oxid železitý) se používají jako základní přísady do rtěnek a líčidel (UV filtr). [3]

Nanostrukturní povlaky se nanášejí na řezné nástroje a třeba i na některé části strojů. Nanovrstvy dokážou chránit nástroj před oděrem, opotřebením, povolením šroubu apod. A proto pro tento účel se používají vrstvy z hliníku, které mají senzorické vlastnosti. Když na ně působí tlak nebo síla, začne se měnit jejich elektrický odpor. Odpor lze využít pro diagnostiku a kontrolu strojů. Např. když se uvolní šroub, následně vyšle uhlíková vrstva jeho podložky signál do řídicího elektronického systému. [3]

Využíváme nanočástice také pro leštění optických materiálů a elektronických substrátů. Třeba nanočástice karbidu křemíku, diamantu a karbidu boru se používají pro lapování součástek (velmi přesné leštění) s cílem omezit vlnitost povrchu na 1-2 nm. Velký význam těchto součástek s vysokou kvalitou povrchu má pro miniaturizaci elektronických zařízení a rozvoj optoelektronických systémů. [3]

Také v oblasti informačních technologií mají nanomateriály významné využití a to při výrobě křemíkových tranzistorů, které používají řízené depozice vrstvených struktur pouze několik atomů tenkých a to přibližně 1 nm. Kritické délky lineárního rozměru hradla tranzistoru dosáhly 180 nm a některým výrobcům se podařilo dosáhnout hodnoty 90 nm. Tím pádem čím je délka hradla kratší, tím můžeme vytvořit menší, rychlejší a energeticky účinnější tranzistor. Díky tomu se zlepšila výkonnost digitálního zařízení a snížení jeho ceny. [3]

Jako další využití vrstvených heterostruktur nalezneme u čtecích hlav standardních harddisků. Díky tomu, že je zde přítomnost nanostruktur, vzniká velký optický odpor, který významně zvyšuje jejich paměťovou kapacitu a snižuje cenu. [3]

## 5.2. Nanokompozitní povlaky

Jsou to materiály složené ze dvou nebo více různých složek a to alespoň jedna se v materiálu vyskytuje ve formě částic o velikosti jednotek až desítek nanometrů. Jedná se o nanočástice aktivní látky (tj. látky se zajímavými magnetickými, elektronickými a jinými vlastnostmi) rovnoměrně rozptýlené v interní matici. Interní matrice má úlohu (např.  $\text{SiO}_2$ - Oxid křemičitý,  $\text{TiO}_2$  (Oxid titaničitý), organické polymery) nést a pevně spojit jednotlivé nanočástice a také zabránit jejich přímému kontaktu mezi sebou. Hlavním důvodem pro použití aktivní látky ve formě nanočástic jsou kvalitně odlišné fyzikální vlastnosti a to oproti objemu materiálu. Toto způsobí například monodoménové struktury nanočástic, vysoký poměr počtu (vnitřních a povrchových) atomů v nanočásticích, nemožná vzájemná interakce částic a mnoho ostatních, je to totiž ještě do dnes zcela moc neprozkoumaný jev. Nanokompozity se odvíjejí od složení ale taky zároveň od velikosti částic, morfologie a uspořádání. Použití kompozitních nanomateriálů je velmi široké. A to na příklad v ukládání informací, magnetické chlazení, zobrazovací metody v medicíně, antiseptická vlákna, různé senzory, ferrofluidy, elektromechanické a magnetomechanické měniče a další. [4]

V současné době se vyskytují kompozity v širokém spektru zpracování, jež se liší maticí a často také způsoby výroby (laminace, tažení, navíjení, RTM atd.). Polymerní matrice je možné rozdělit podle řady fyzikálních kritérií, ale nejčastější rozdělení je na termoplasty a reaktoplasty. [4]



**Obr. 6.** – Výrobky s nanokompozitním povlakem[4]



### 5.3. Nanočástice v povlacích

Vývoj nanotechnologií vysvětlil člověku některé, pro něj do té doby, nepochopitelné jevy. Jedním z těchto jevů jsou i obdivuhodné vlastnosti povrchů některých rostlin a živočichů. Např. každá kapka vody, která dopadne na lotosový list, po něm steče, aniž by povrch namočila a navíc ho očistí. [5]

Teprve bližším zkoumáním přišel člověk na to, že tyto povrchy mají určitou strukturu, která nedovoluje vodě vniknout a navíc vodu využije k svému samočištění. Poznatky získané v laboratořích, se nyní začínají přenášet do každodenního života a jejich využití může být pro každého z nás mnohem širší a užitečnější, než jsme si kdy dovedli představit. [5]

Každý povrch má své vlastnosti. Prostřednictvím vrstev založených na chemické nanotechnologie je možné tyto vlastnosti modifikovat a upravovat tak, aby co nejlépe vyhovovali našim potřebám. "Obyčejné" povrchy se tak díky nanotechnologiím mohou během několika okamžiků proměnit v povrchy, které oplývají těmito vlastnostmi: [5]

- **Odolnost proti oděru a poškrábání**

Plochy se stávají mechanicky i chemicky odolné. U plastů se míra poškrábání a oděru snižuje na úroveň minerálního skla. [5]

- **Ochrana proti korozi**

Na materiálech, které obvykle korodují, se vytvoří ochranný film, který zamezuje vzniku a šíření koroze. Životnost ploch a předmětů ošetřených nanopovlaky je několikrát vyšší v porovnání s neošetřenými. [5]

– **Impregnace - odpudivost vody a olejů**

Snižuje se sací schopnost materiálu. Voda i oleje vytvářejí na povrchu kapky podobné kapkám rtuti a stékají, aniž by došlo k promočení. Současně se tím snižuje riziko zašpinění od znečištěným popř. obarvujících látek (červené víno, káva apod.). [5]

– **Ochrana proti otiskům prstů**

Nano-povlak zabraňuje zanechávání otisků prstů na leštěných plochách, jako jsou např. zrcadla, skla, antikoro, obrazovky apod. [5]

– **Odolnost proti bakteriím a plísním**

Ošetřený povrch nedovoluje bakteriím a plísním jejich usazování. Plochy a předměty se tak stávají nejen čisté, ale i hygienicky nezávadné. [5]

– **Ochrana proti stárnutí materiálu**

Povlak chrání před povětrnostními, chemickými i mechanickými vlivy a před ultrafialovým zářením. Prodlužuje tak životnost ošetřených předmětů a ploch. U dřeva zpomaluje jeho tlení. [5]

– **Nezamlžování**

Jsou-li nanopovlakem ošetřeny skla a zrcadla, nedochází k jejich zamlžování. [5]

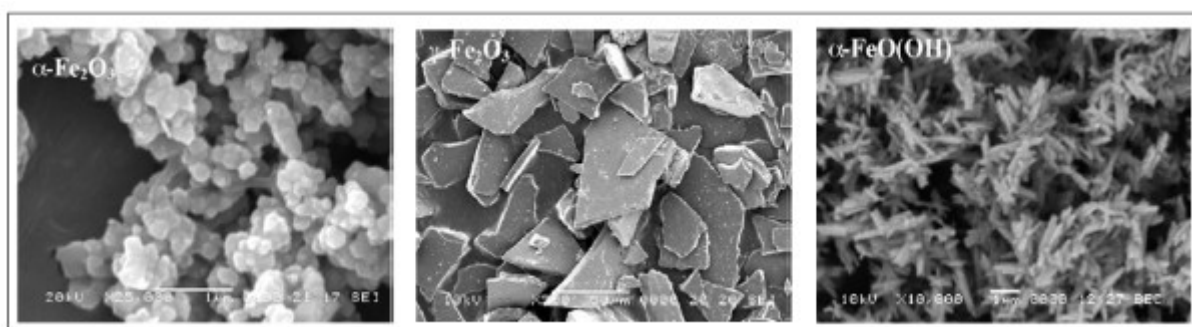
– **Jednoduchost čištění (Easy-to-clean) a samočisticí schopnost**

Povrch je nelepivý, odpuzivý vůči vodě, olejům, mastnotám i běžným nečistotám. Nedochází k "nalepování" nečistot na povrch. Při dešti nebo opláchnutí vodou se projevuje tzv. samočisticí efekt - nečistoty se nabalují na kapky vody a po materiálu stékají. I větší znečištění lze lehce odstranit pouze vodou. Není třeba používat agresivní saponáty a čisticí prostředky. [5]

Šetří se tak čas strávený úklidem i peníze investované do různých chemických čisticích prostředků. Současně tím nano-technologie přispívá k ochraně našeho životního prostředí. [5]

V nanonátěrech jsou anorganické křemíkové částice, vázané organickými polymery. Také anorganické částice mohou být hustě propojeny a to díky své velikosti, díky tomu mají zvýšenou tvrdost a odolnost proti poškrábání. Mimo toho nabízí ochranu proti potenciálně ničivým mechanickým procesům. Pomáhají i proti boji s korozí. Poskytují bariéru chránící proti vodní páře a chemikáliím. [6]

Nové funkce v nanonátěrech mají širokou paletu ochran. Například nanočástice Fe,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , FeO přinášejí velký skok ve kvalitě a to u mnoha oborů pro jejich elektrické, magnetické a optické vlastnosti, na rozdíl od klasických mikročástic. [6]



**Obr. 7. – Oxidy železa[6]**

## **6. Tenký povlak**

Jedná se o materiál s tloušťkou od několika desítek nanometrů až po několik mikrometrů a je tvořen na základním materiálu (tj. substrátu). Tyto vrstvy (povlaky) se již řadu let používají pro povrchovou úpravu různých substrátů. Existuje je široká škála použití tenkých povlaků například v elektrotechnickém průmyslu, strojírenství, energetice, dekorační technice atd. Příklady: ( velmi tvrdé diamantové vrstvy se nanášejí na řezné nástroje, díky tomu se až několikanásobně zvyšuje jejich životnost, optické vrstvy se používají k antireflexnímu pokrytí čoček a k nanesení reflexních vrstev na zrcadla, kovové vrstvy Al, Au, Cu tvoří kontakty na polovodičích). [7]

### **Rozdělení tenkých povlaků**

Dle technologie nanášení:

- CVD (chemická metoda depozice vrstev)
- PACVD (chemická metoda depozice vrstev, pomocí plasmy)
- PVD (fyzikální metoda depozice vrstev) [7]

Dle tvrdosti:

- Tvrdé vrstvy (tvoří je většinou karbidy, nitridy, boridy)
- Měkké vrstvy (zastoupeny polymery a nekovové látky) [7]

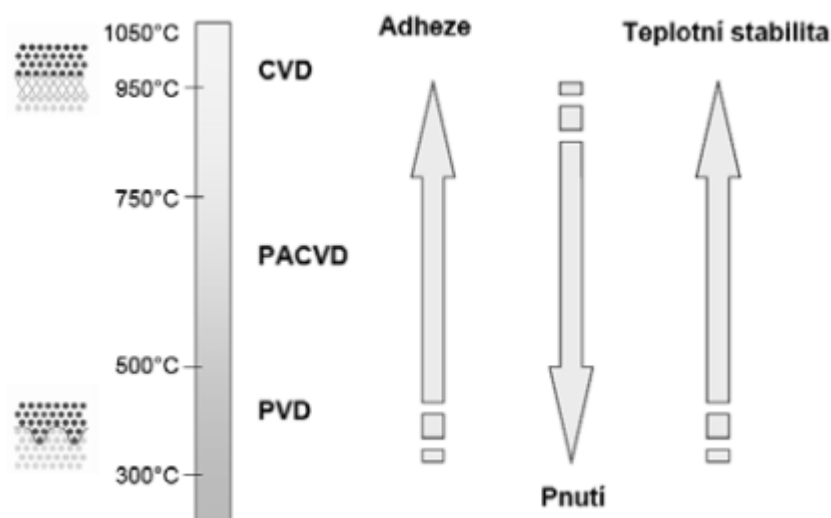
Dle homogenity:

- Homogenní (ve vrstvě je zastoupen pouze jeden prvek)
- Nehomogenní (ve vrstvě je zastoupeno více různých prvků) [7]

## Základní požadavky na tenký povlak

Mezi základní požadavky patří například otěruvzdornost, tvrdost, nízký koeficient tření, který má vysoké požadavky na adhezi se substrátem. Kdyby nebyla, docházelo by k její rychle degradaci, což je vzhledem k poměrně vysoké ceně aplikační technologie nežádoucí. [7]

Výrazný problém se objevuje v provázanosti adheze a vnitřního pnutí ve vrstvě, ilustruje obr. 8. Vysoká adheze materiálu vyžaduje vysokou depozitní teploty, které poskytuje technologie CVD. Tento stav s sebou však nese vysoké riziko vzniku trhliny ve vrstvě, jelikož je teplotní gradient mezi vrstvou při operaci CVD a pracovní teplotou vrstvy vysoký. [7]



**Obr. 8.** – Závislosti vnitřní vrstvy[7]

## **6.1. Vliv technologie v tvorbě tenkých povlaků**

Tenké ochranné povlaky mají nenahraditelné místo v ochraně široké škály konstrukčních materiálů. Vliv povlaků narůstá stále, a to protože se rozšiřuje trvale škála chráněných substrátů, jako např. ocel, slitiny hliníku, zinek, minerální materiály. Abychom mohli aplikovat kvalitní ochranný povlak, který bude splňovat požadované vlastnosti, musí být splněny technologické požadavky. [2]

### **Technologické požadavky pro aplikování kvalitního povlaku**

- předběžné úpravy povrchu
- omezením vlivu nepříznivého prostředí při tvorbě povlaku (teplota, prašnost, vlhkost)
- výběr povlaku podle kladených požadavků pro jeho dosažení
- volba vhodné metody nanášení ochranného povlaku [2]

Při vytváření ochranného povlaku se nepříznivé vlivy, nepříznivě odrážejí na vlastnostech povlaků. Proto se při procesu výroby snažíme nepříznivé vlivy eliminovat nebo úplně odstranit. [2]

Povlakové materiály a zvyšující se nároky na povlaky se promítají do nových nátěrových systémů a ochranných povlaků. Proto v dnešní době už existuje velké množství druhů povlaků, které se liší složením např. (organické, anorganické), pomocí vytváření (galvanickým procesem, chemickou reakcí, difuzí, ve vakuu). Všechny tyto ochranné povlaky mají jedno společné a to základní požadavky na povlaky a to např. (přilnavost, tloušťku povlaku, elasticita, tvrdost a jiné). [2]

Všechny zmíněné požadavky na vytvoření ochranného povlaku ve větší míře ovlivňuje složení aplikovaných nátěrů a procesů vytváření. Např. u organického povlaku se tloušťka pohybuje kolem 25  $\mu\text{m}$  až 2 mm. Za to u vakuového a galvanického povlakování se tloušťka pohybuje od 800 nm až po 500  $\mu\text{m}$ . Z toho nám plyne, že čím větší bude tloušťka povlaků, tím bude povlak tvrdší, ale není tomu vůbec tak. Protože povlaky vytvořené ve vakuu mají

tloušťku vrstev v mikronech, tak dosáhnou velmi vysoké tvrdosti a to oproti povlakům organickým, které mají tloušťku vrstev v milimetrech. [2]

Výše zmíněné požadavky na tvorbu ochranných povlaků mají chránit podkladový materiál proti jeho znehodnocení. Např. tvrdost povlaku je velmi důležitá, zamezuje vnikání cizích těles do materiálu a brání tak, aby nedocházelo k opotřebení. Požadavek na elasticitu ochranného povlaku nám brání v tom, aby nedocházelo k popraskání povlaků, např. (dekorativní znehodnocení). [2]

### **Vhodné povrchové úpravy pro dosažení těchto vlastností**

- mechanické úpravy (tryskání, broušení, ...)
- tepelně upraven (kalením, žíháním, ...)
- chemické úpravy (mořením, odmašťováním, ...) [2]

I když zvolíme kvalitně navržený povlak anebo metodu aplikace ochranného povlaku, nemusí nám to zaručit, že povlak bude mít tyto vlastnosti, které jsme požadovali. Největší problém nám způsobují nečistoty na povrchu, také snižují základní vlastnost povlaků a to je přilnavost. Proto klademe velký důraz na dokonalé odstranění nečistot z povrchu materiálu, za pomoci vhodných povrchových úprav (zmíněné výše) a tím pádem vytvořit kvalitní základy pro zhotovení kvalitních povlaků. [2]

## **7. Návrh experimentálních prací**

**Experimentální práce bude v následujícím pořadí:**

1. Výběr, příprava a označení vzorku.
2. Hodnocení povrchu vzorku před nanášením povlaku
  - Hodnocení prašnosti povrchu dle ČSN ISO 8502-3
  - Stanovení drsnosti povrchu vzorku dle ČSN ISO 428
  - **(drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ 301)**
3. Aplikace nano povlaku
  - Nanášení nátěru štětcem
  - Stanovení tloušťky mokrého nátěrového systému dle ČSN ISO 2808
  - Stanovení tloušťky suchého nátěrového systému dle ČSN ISO 2808
4. Zkoušky přilnavosti antikorozního nátěrového systému
  - Mřížková zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 16276
  - Křížový řez dle ČSN EN ISO 16276-2
5. Korozní zkouška v solné korozní komoře dle ČSN EN ISO 9227



## **7.1 Popis experimentálních prací**

### **Výběr, příprava a označení zkušební vzorku:**

- na zkušební vzorek se použil pouze jeden druh materiálu
- zkušební vzorek o rozměrech 150x100x2 mm
- materiál – konstrukční ocel, která se používá pro výrobu ocelových konstrukcí haly, mosty, atd.
- materiál byl otryskán litinovou drtí



***Obr. 9. - Fotodokumentace zkušební vzorku***

### **Značení vzorku:**

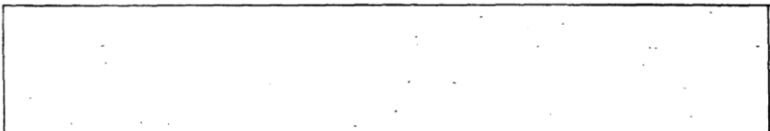
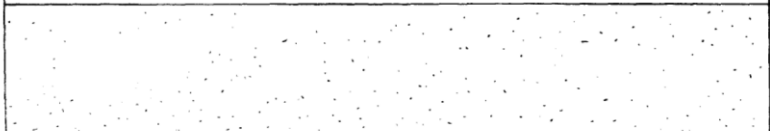
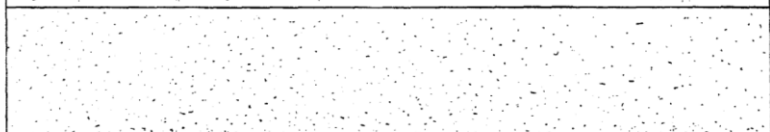
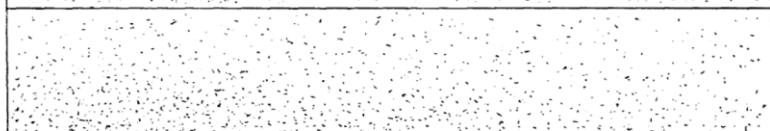
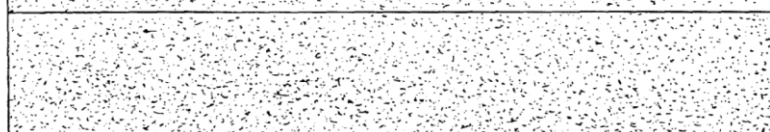
Značení vzorku nebylo potřeba, protože se jednalo o jeden druh materiálu a jeden typ nátěrového systému, který byl na vzorek nanesen.

## 7.2 Hodnocení povrchu vzorku

### 7.2.1 Hodnocení prašnosti povrchu dle ČSN ISO 8502-3:

Tato norma pro hodnocení prašnosti povrchu, nám charakterizuje metodiku stanovení zbytků prachu na očištěném ocelovém povrchu, který je připraven pro aplikaci nátěrů.

K vyhodnocení množství prachu na vzorku se využívá samolepící adhezční páska. Tuto pásku přitlačíme k ocelovému povrchu a pod úhlem 180° ji strhneme. Strženou pásku se zachyceným prachem nalepíme na kontrastně odlišný podklad. Následně se provádí vizuální hodnocení množství zachyceného prachu a stanoví se velikost prachových částic. Velikost prachových částic stanovíme pomocí stupnice, kde stanovujeme stupeň a velikost prachových částic. [13] [14]

	<b>1</b>
	<b>2</b>
	<b>3</b>
	<b>4</b>
	<b>5</b>

*Obr. 10. - Obrazová stupnice odpovídající množství prachu dle ČSN ISO 8502-3[14]*

*Tab. 1. - Třídy velikosti prachových částice dle ČSN ISO 8502-3 [14]*

TŘÍDA	POPIS PRACHOVÝCH ČÁSTIC
0	Částice neviditelné při zvětšení 10x
1	Částice viditelné při zvětšení 10x, ale ne prostým okem (obvykle částice menší než 50 $\mu\text{m}$ v průměru)
2	Částice již viditelné prostým okem (obvykle částice mezi 50 $\mu\text{m}$ a 100 $\mu\text{m}$ v průměru)
3	Částice jasně viditelné prostým okem (částice od 0,5 mm v průměru)
4	Částice mezi 0,5 mm až 2,5 mm v průměru
5	Částice větší než 2,5 mm v průměru

### 7.2.2 Stanovení drsnosti povrchu vzorku dle ČSN ISO 4287:

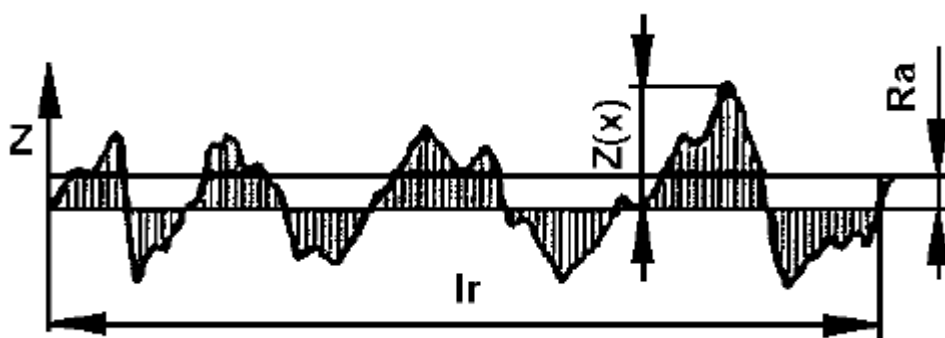
Drsnost povrchu je vlastně jakostí obráběného povrchu. Jedná se o soubor nerovnosti na povrchu a to v relativně malé vzdálenosti. Drsnost se určuje podle způsobu obrábění, vzhledu a hloubky stop po nástroji, které vzniknou při výrobě nebo jiným způsobem. Znamená to, že drsnost je vlastně to, jak povrch vypadá. Vady povrchu co do drsnosti nepatří, jsou např. náhodné nerovnosti, které se vyskytují jen ojediněle a vznikají vadami daného materiálu. [15]

Požadavky na drsnost povrchu se vyjadřují charakteristikou drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287. Mezi důležité parametry patří:

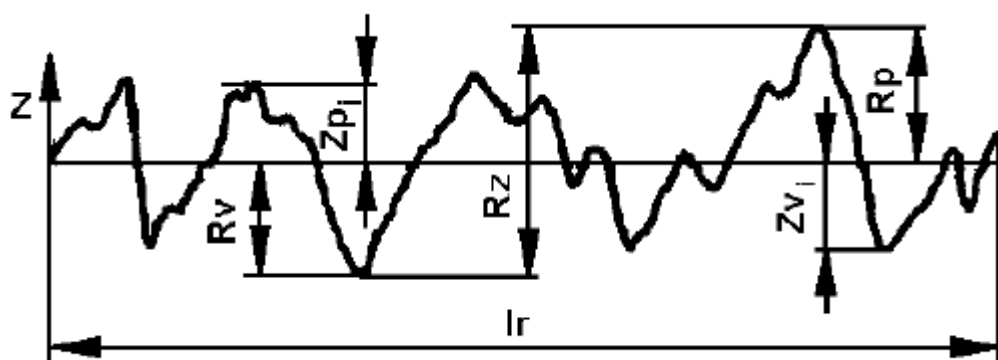
- **Ra** – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [ $\mu\text{m}$ ]
- **Ry** – největší výška nerovnosti profilu [ $\mu\text{m}$ ]
- **Rz** – maximální výška profilu [ $\mu\text{m}$ ]
- **Rq** – kořenová průměrná čtvereční odchylka profilu [ $\mu\text{m}$ ]
- **Rp** – největší výška výstupku profilu [ $\mu\text{m}$ ]
- **Rv** – největší hloubka prohlubně profilu [ $\mu\text{m}$ ]
- **Rsk** – šikmost posuzovaného profilu [-]
- **Rku** – špičatost posuzovaného profilu [-] [16]

Rozdělení struktury povrchu na složky podle rozteče příslušných nerovností dle normy ČSN EN ISO 4287. Definované geometrické parametry:

- **R** – pro drsnost povrchu
- **W** – pro vlnitost povrchu
- **P** – pro základní profil [16]



*Obr. 11. – Parametr drsnosti Ra [15]*



*Obr. 12. – Parametr drsnosti Rz [15]*

### **7.2.3 Korozní zkouška v solné korozní komoře dle ČSN EN ISO 9227:**

Solná korozní komora musí zajistit, že budou splněny podmínky rovnoměrného rozdělení mlhy. Komora musí být sestrojena, tak aby z horní části nestékaly kapky rozprášeného roztoku. [17]

Díky této zkoušce můžeme stanovit odolnost materiálu v přírodní přímořské atmosféře, ve které je rozhodujícím faktorem korozního činitele aerosol mořské vody, což se hodí vzhledem k použitému povlaku. Princip zkoušky je založen na vystavení vzorku v uzavřené komoře při působení vysoké relativní vlhkosti a to za zvýšené teplotě. Současně je během procesu rozprašování mlhy do mlhy přidáván 5% vodní roztok chloridu sodného. Výsledkem zkoušky je stupeň korozního napadení vzorku v časových intervalech. [18]

#### **Doporučené doby expozice jsou:**

- 2 h, 6 h, 24 h, 48 h, 96 h, 168 h, 240 h, 480 h, 720 h, 1 000 h

Po dobu zkoušky se rozprašování mlhy nesmí přerušit. Komora se otevře pouze při krátké vizuální kontrole vzorku a to bez změny jeho polohy nebo při doplnění solného roztoku do zásobníku. [17]

#### **Zpracování vzorků po zkoušce a vyhodnocení výsledků**

Po čase co jsme si určili pro zkoušku, se vzorky vyjmou z komory a před opláchnutím se nechají 30 minut až 1 hodinu oschnout. A to proto, aby se zamezilo nebezpečí odstranění korozních zplodin. Před vyhodnocením výsledků se z povrchu vzorku odstraní pozůstatek rozprášeného roztoku. Vhodný je oplach nebo ponor vzorku do čisté tekoucí vody o teplotě do 40 °C, poté následuje osušení proudem vzduchu o tlaku do 200 kPa ve vzdálenosti 300 mm. [17]

K vyhodnocení výsledků zkoušky lze použít tyto různé kritéria např.:

- vzhled po odstranění povrchových korozních zplodin
- čas, do objevení se prvních známek koroze
- tvar po zkoušce
- počet a rozložení korozních poškození [17]

## 8. Provedení a vyhodnocení experimentálních prací

Před nanesením nátěrové hmoty na povrch vzorku musel být vzorek důkladně odmaštěn a to odmašťováním ponorem ve studené vodě cca 23°C. Odmaštění vzorku probíhalo ve směsi vody + odmašťovadla (SIMPLE GREEN) a to v poměru 1:10. Délka odmašťování vzorku bylo 10 minut za občasného víření směsi. Po odmaštění byl zařazen oplach a to 2x pod studenou vodou. Poté byl vložen vzorek do pece a to na 5 minut při 100 °C. Typ pece SN 30/4, výrobní číslo 823001, rok 1973.

### 8.1 Hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502-3

Po odmašťování a vysušení v peci byla dle normy ČSN ISO 8502-3 stanovena hodnota zaprášení povrchu. Tato norma nám popisuje správný postup a metodiku při stanovení třídy prašnosti na očištěném ocelovém povrchu.

Pro vyhodnocení množství prachu na daném vzorku byla použita samolepící adhezni páska, která se přilepí na daný povrch vzorku. Tato páska byla nalepena na kontrastní papír. Na čistém bílém papíře vyhodnotíme množství zachyceného prachu na pásce a velikost prachových částic. Zjištěné hodnoty byly porovnány s tabulkou pro odpovídající množství prachu dle ČSN ISO 8502-3. Díky tomu bylo zjištěno, že u našeho vzorku je velikost prachových částic zanedbatelná, třída zaprášení 1.

### 8.2 Stanovení drsnosti povrchu vzorku dle ČSN EN ISO 4287

Podle normy ČSN EN ISO 4287 byla změřena drsnost vzorku a to před aplikací nátěrové hmoty.

Měření drsnosti se provádělo na dotykovém profilometru **Mitutoyo Surftest SJ 301**. Ten to přístroj vyhodnotí povrchovou drsnost s různými parametry. Pro zkoumaný vzorek bylo provedeno 10 měření. Hodnoty získané měřením byly zapsány do tabulky a poté stanovena maximální a minimální hodnota a také průměrná hodnota. Stanovené hodnoty byly na závěr zakreslené do grafu.



*Obr. 13. – Fotodokumentace profilometru Mitutoyo SurfTest SJ 301*

#### Vyhodnocení drsnosti na vzorku:

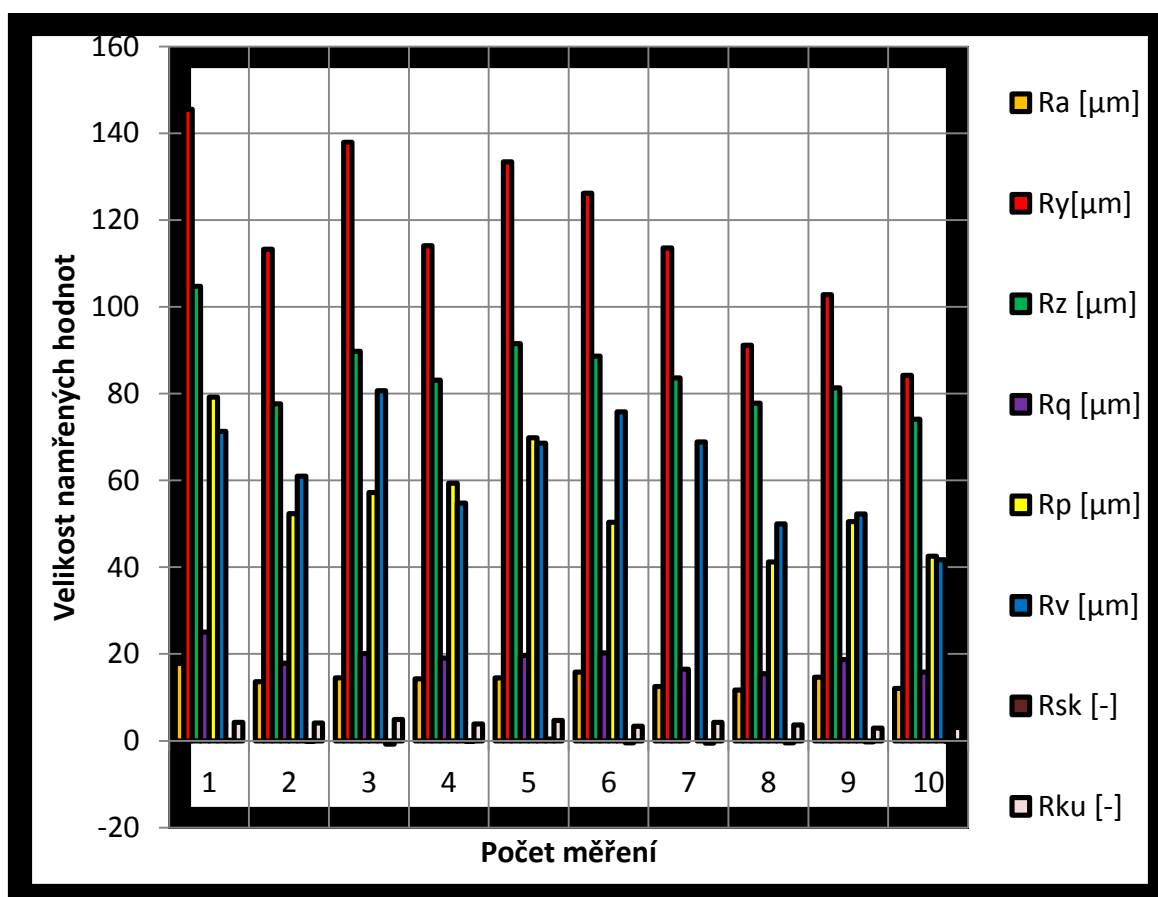
- po nastavení přístroje, probíhalo měření dle ISO 1997

*Tab. 2. – Tabulka naměřených hodnot drsnosti vzorku*

<b>Vzorek:</b>	Konstrukční ocel							
<b>Parametry:</b>	$\lambda_c = 8, L = 1 \text{ mm}$							
Měření	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Ry [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Rq [ $\mu\text{m}$ ]	Rp [ $\mu\text{m}$ ]	Rv [ $\mu\text{m}$ ]	Rsk [-]	Rku [-]
1	17,85	145,5	104,7	25,05	79,22	71,32	0,12	4,25
2	13,58	113,3	77,65	17,87	52,36	60,98	-0,01	4,11
3	14,53	137,9	89,76	20,12	57,23	80,64	-0,76	4,89
4	14,25	114,1	83,12	19,10	59,35	54,79	-0,01	3,91
5	14,52	133,4	91,53	19,64	69,83	68,60	0,40	4,65
6	15,80	126,2	88,64	20,28	50,35	75,81	-0,51	3,35
7	12,53	113,6	83,65	16,52	44,79	68,86	-0,58	4,26
8	11,66	91,15	77,78	15,49	41,18	49,97	-0,45	3,64
9	14,68	102,8	81,36	18,70	50,50	52,30	-0,29	2,94
10	12,07	84,24	74,10	15,84	42,56	41,74	-0,10	3,04
MAX	17,85	145,5	104,7	25,05	79,22	80,64	0,40	4,89
MIN	12,07	84,24	74,10	15,49	41,18	41,74	-0,76	2,94
Ø	14,14	116,21	85,22	18,86	54,73	62,50	-0,21	3,90

## Popis jednotlivých parametrů:

- $\lambda c$  – filtr profilu, který vymezuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti
- $L$  – délka měřeného úseku



*Graf 1. – Graf pro porovnání naměřených hodnot drsnosti vzorku*



### 8.3 Nanesení nátěru na vzorek

Po odmašťování a vysušení vzorku v peci, byl na vzorek aplikován nátěr a to přípravku **Nano Metal Guard** pomocí štětce. Tloušťka mokrého nátěrového systému pomocí hřebenové měrky se bohužel nedala změřit a to z důvodu, že aplikovaný nátěr byl velmi řídký a vytvořil na povrchu vzorku, velmi tenký povlak. Tato situace nastala i u mřížkové zkoušky a křížového řezu. Tyto zkoušky na zkušebním vzorku nešli provést a to z důvodu skoro neviditelné vrstvy naneseného povlaku.



*Obr. 14. – Fotodokumentace naneseného povlaku na vzorek*

**Popis aplikovaného nátěru na zadní etiketě výrobku:****AUTOSOL Nano Metal Guard**

- konzervuje veškeré kovové povrchy vrstvou ochranných vosků a nanočástic
- poskytuje dlouhotrvající ochranu před vlivy prostředí

**Postup:**

Před použitím důkladně protřepejte a poté měkkým hadříkem nebo houbou naneste na vyčištěný/vyleštěný povrch tenkou vrstvu. Nechte uschnout a doleštěte.

**Upozornění:**

Nepoužívejte na horkém povrchu nebo na přímém slunci. Není vhodný na neošetřený plast, gumu nebo sklo. Hořlavina. Výpary mohou způsobit nevolnost. Opakované vystavení látky způsobí vysušení a rozpraskání kůže. Nevdechujte. Zbytku prostředku a obalu se zbavujte bezpečným způsobem.



**Obr. 15.** – Fotodokumentace aplikovaného výrobku a konzistence výrobku

## 8.4 Korozní zkouška v solné komoře dle ČSN EN ISO 9227

Korozní zkouška v solné komoře, nabízí prostorově úsporné inovativní řešení pro zkoušky atmosférické koroze v solné mlze, jedná se o nepoužívanější a nejmodernější metodu hodnocení v korozní odolnosti. Zkouška byla provedena v solné korozní komoře LIEBISCH S400 M-TR. U zkoušky byl dodržovaný postup dle normy ČSN EN ISO 9227.

Než jsme vložili vzorek do korozní komory, byly jeho okraje oblepeny samolepící páskou a to z důvodu, aby při operaci nedocházelo k primárnímu vniku koroze. Do korozní komory byl vložen pouze jeden vzorek s naneseným nátěrem. Zkoumaný vzorek byl v jednotlivých intervalech fotograficky dokumentován.

### Podmínky v korozní komoře:

- tlak vody 2,5 až 3 bar
- tlak vzduchu 3 až 4 bar
- průtok vody 0,453/hod
- teplota navlhčovače 55 °C
- teplota prostředí 35±2 °C
- vlhkost 100 %
- solná mlha – 5 % neutrální vodní roztok NaCl

### Vzorky byly sledovány v intervalech:

- 2 hodin
- 5 hodin

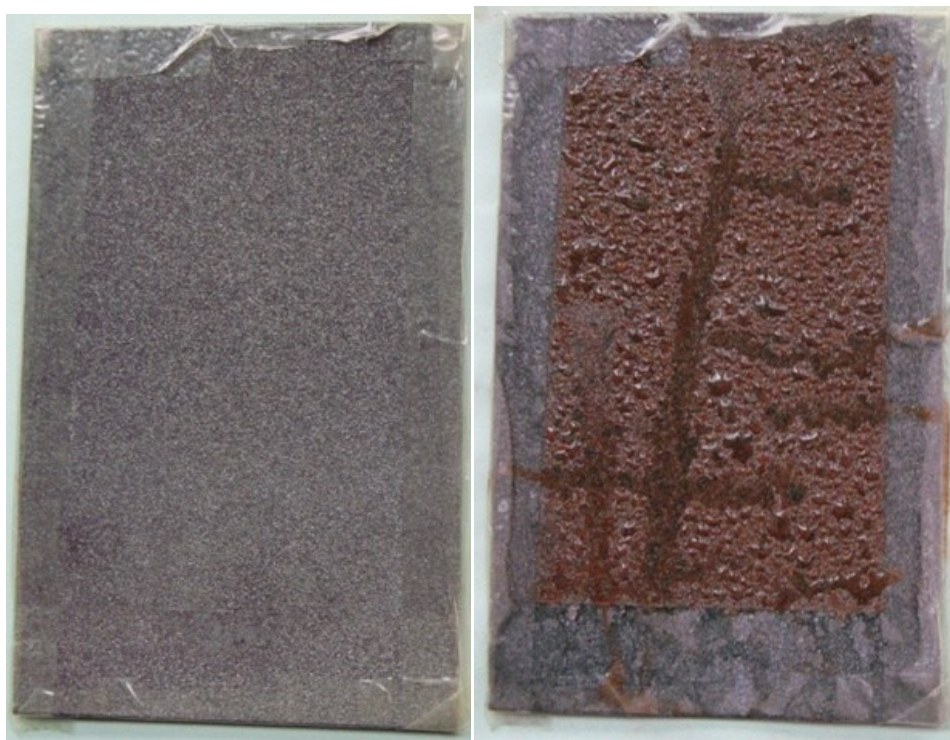
### **8.4.1 Fotodokumentace vzorku v intervalech**

**Fotodokumentace byla pořízena:**

- před vložením vzorku do korozní komory
- po intervalu 2 hodin
- po intervalu 5 hodin



***Obr. 16. – Fotodokumentace vzorku před vložením do korozní komory***

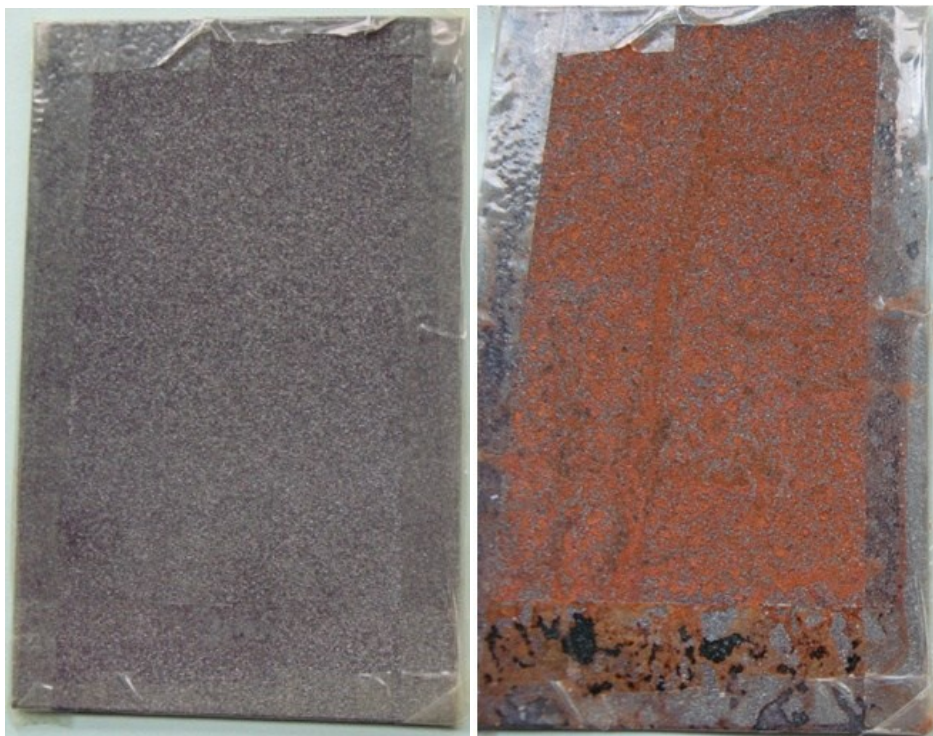


**Obr. 17.** – Fotodokumentace vzorku degradace nano nátěru

- a) snímek vzorku před vložením do korozní komory*
- b) snímek vzorku po 2 hodinách v korozní komoře*

Na vzorku jsou patrné mokré povrchy a to bezprostředně po intervalu 2 hodin v korozní komoře se solnou mlhou. Na vzorku byly zaznamenány mokré rezavé povrchy, kapky roztoku ze rzí, bez puchýřů. Vzorek byl fotograficky dokumentovaný pod úhlem cca 20° ke svislici.



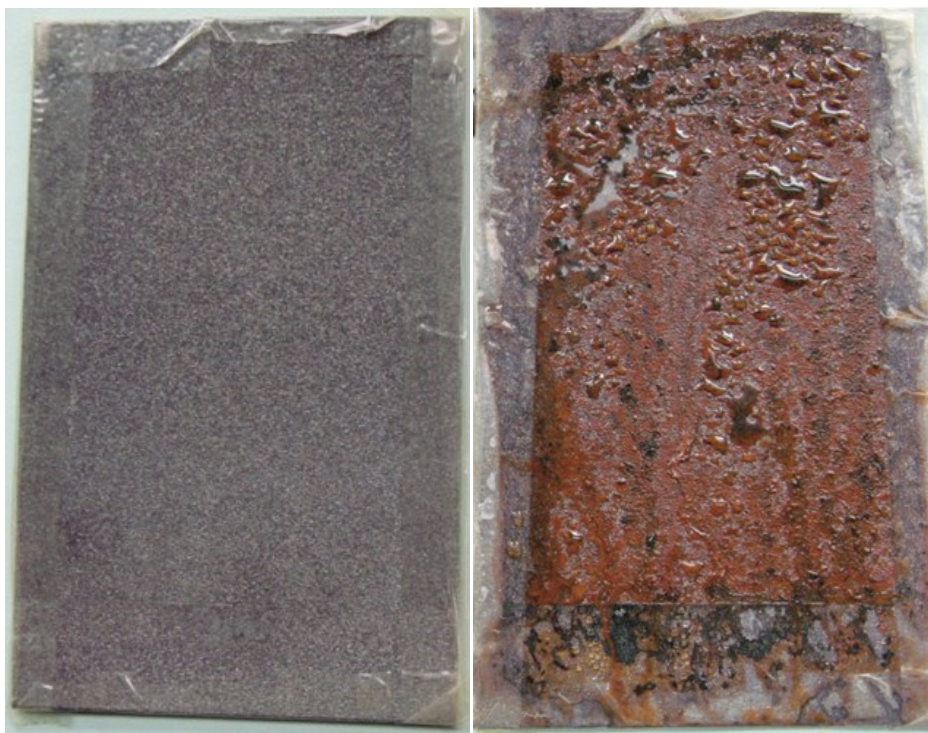


**Obr. 18.** – Fotodokumentace vzorku degradace nano nátěru

*a) snímek vzorku před vložením do korozní komory*

*b) snímek vzorku po 2 hodinách v korozní komoře a vysušení*

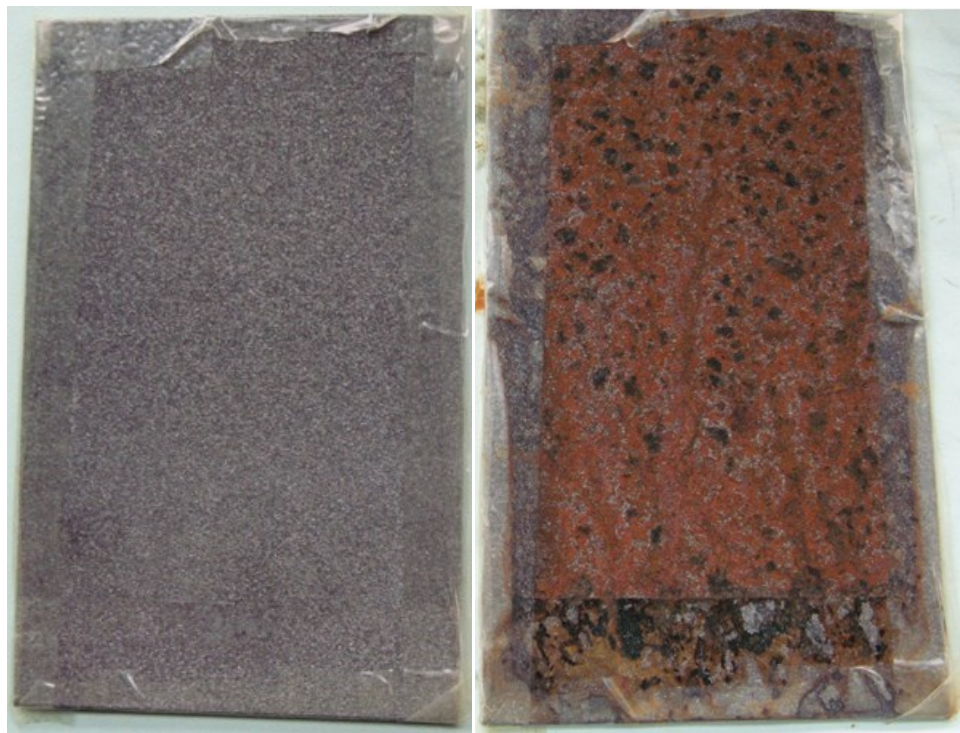
Povrch vzorku byl velmi poškozen korozí už po 2 hodinách v korozní komoře, vše probíhalo v laboratoři při 24 °C, po dobu 14 hodin.



**Obr. 19.** – Fotodokumentace vzorku degradace nano nátěru

- a) snímek vzorku před vložením do korozní komory*
- b) snímek vzorku po 5 hodinách v korozní komoře*

Na povrchu vzorku bezprostředně po intervalu 5 hodin, jsou patrné rezavé kapky roztoku, stopy po stékaných kapkách, pouze v určitých místech. Rezavý povrch vzorku je bez puchýřku ale s patrnými černými skvrnami.



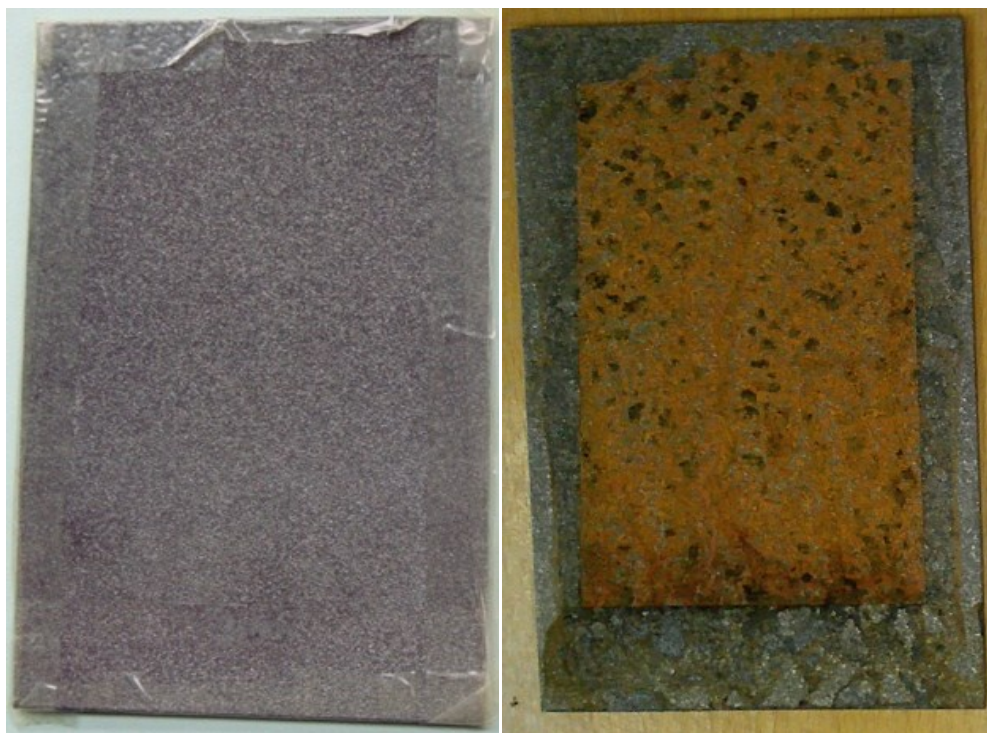
**Obr. 20.** – Fotodokumentace vzorku degradace nano nátěru

*a) snímek vzorku před vložením do korozní komory*

*b) snímek vzorku po 5 hodinách v korozní komoře a vysušení*

Vzorek po intervalu 5 hodin byl osušen papíry (odsání vodního roztoku). Na povrchu je patrné, že je bez puchýřků ale s černými skvrnami a menšími šedými skvrnami (jedná se pravděpodobně o pozůstatky původní vrstvy). Na fotodokumentaci je i zachyceno, že pod lepicí páskou jsou obdobné světlé skvrny.





**Obr. 21.** – Fotodokumentace vzorku degradace nano nátěru

- a) snímek vzorku před vložením do korozní komory  
b) finální snímek vzorku po operaci v korozní komoře

#### 8.4.2 Vyhodnocení degradace nátěru

##### **Hodnocení stupně puchýřkování dle ČSN EN ISO 4628-2:**

Tato norma popisuje metodu hodnocení stupně puchýřkování nátěru v porovnání s obrázkovými standarty. Velikost a počet vzniklých puchýřků v nátěru se hodnotí pomocí obrazové stupnice. Provádí se v dobrém světle. [20]

##### **Hodnocení stupně prorezavění dle ČSN EN ISO 4628-3:**

Tato norma popisuje stanovení stupně prorezavění nátěrů ve srovnání s obrázkovým standardem. [19]

Tab. 3. – Stupeň prorezavění a plocha s výskytem rzi [19]

STUPEŇ PROREZAVĚNÍ	PLOCHA S VÝSKYTEM RZI %
Ri 0	0
Ri 1	0,05
Ri 2	0,5
Ri 3	1
Ri 4	8
Ri 5	40 až 50

Tab. 4. – Vyhodnocení korozní zkoušky dle normy ČSN EN ISO 4628

ČASOVÉ ROZMEZÍ V KOROZNÍ KOMOŘE	STUPEŇ PUCHÝŘKOVÁNÍ	STUPEŇ PROREZAVĚNÍ
Před vložením do korozní komory	0(S0)	Ri5(S0)
Po 2 hodinách v korozní komoře	0(S0)	Ri5(S0)
Po 5 hodinách v korozní komoře	0(S0)	Ri5(S0)

**Vyhodnocení vzorků po 5 hodinách v korozní komoře:**

U hodnocení zkoušky v korozní komoře, nám po 5 hodinách zkušební vzorek vykazoval hodně špatné výsledky u nátěrového systému Nano Metal Guard. Zkušební vzorek nevykazoval žádný stupeň puchýřkování ale vykazoval nejvyšší stupeň prorezavění Ri5(S0).

## **9. Ekonomické zhodnocení**

Při postupu nanášení nátěrového systému s přidáním obsahu nanočástic, nám tenký nátěr zvyšuje antikoroziční odolnost. Bohužel u našeho zkušebního vzorku a nátěrového systému antikoroziční ochrana naprosto selhala. Při zkoušce v korozní komoře byla odolnost zkušebního vzorku naprosto degradovaná. Již po 2 hodinách začala korozní ochrana rapidně klesat a po 5 hodinách nebyla antikoroziční ochrana vůbec žádná. Tato nanesená tenká vrstva nezajišťuje naprosto žádnou dlouhodobou korozní ochranu, ale v našem případě ani krátkodobou. Z ekonomického hlediska jsou tenké vrstvy nátěrové hmoty velmi pozitivní. V našem případě se ale tento fakt neprokázal, u našeho zkušebního vzorku tenká vrstva nátěrového systému naprosto selhala.

## 10. Závěr

Bakalářská práce se zaměřuje na studium současných znalostí o tenkých povlacích s obsahem nanočástic. V teoretické části byly prostudovány vlastnosti a využití tenkých povlaků s obsahem nanočástic, celková nanotechnologie a před úpravy pro kvalitní ukotvení tenkého povlaku.

Cílem této práce byla aplikace a použití tenkých povlaků s obsahem nanočástic. Pro tuto operaci byl vybrán nanopovlak Nano Metal Guard. U kterého výrobce udával, že tento povlak obsahuje nanočástice a konzervuje veškeré kovové povrchy. U zkušební vzorku pro zkoušku byla provedena povrchová úprava tryskáním a to litinovou drtí. Před zkouškou byl povrch odmaštěn v lázni se složením Simple Greenu a vody. Nakonec byl vzorek umístěn do pece na 5 minut při 100 °C, pro dokonalé vysušení před nanesením povlaku.

Experimentální část byla zaměřena na korozní odolnost nátěrového systému. Po aplikování povlaku na zkušební vzorek štětcem a po uschnutí nanesené vrstvy. Byl zkušební vzorek umístěn do solné korozní komory. Kde byl vzorek vystaven solné mlze a to po dobu 5 hodin. První známky zhoršení korozní odolnosti u vzorku proběhlo již po 2 hodinách v korozní komoře. U vzorku byla zjištěna velká degradace a korozní odolnost velmi klesla, což mohlo způsobit složení použitého nanopovlaku. Po 5 hodinách v korozní komoře byl vzorek kompletně pokrytý korozi. Vše probíhalo dle normy ČSN EN ISO 9227. Bohužel u námi zvoleného nátěrového systému nešlo provést měření tloušťky mokrého nátěrového systému pomocí hřebenové měrky, tak i měření již suchého nátěrového systému, z důvodu skoro neviditelného povlaku. Ze stejného důvodu nebyly provedeny zkoušky mřížkou a křížovým řezem, které byly v návrhu experimentu pro provedení.

Experimentální zkoušky jednoznačně prokázali, že odolnost nátěrového systému proti korozi není skoro vůbec žádná. Výrobce udává u výrobku, že konzervuje veškeré kovové lodní povrchy a dlouhodobou ochranu před vlivy prostředí. Po zkoušce v korozní komoře bych tento povlak nedoporučil na jakékoliv lodní povrchy. Náš vzorek byl vystavený podobným podmínkám panujícím u lodních povrchů a podobnému prostředí. Již po 2 hodinách byl vzorek zcela zkorodovaný a prakticky nepoužitelný pro další využití.

## 11. Použitá literatura

- [1] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB - TU Ostrava, 2006, 3. vyd. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
- [2] KRAUS, V. *Povrch a jejich úpravy* [online]. © 2013 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z WWW: <<http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>>.
- [3] KUBÍNEK, R. a STRÁNSKÁ, V. *Úvod do problematiky nanotechnologie* [online]. 2014 [cit. 2014-03-24]. Dostupné z WWW: <<http://exfyz.upol.cz/didaktika/oprlz/nanotechnologie.pdf>>.
- [4] CNCKONSTRUKCE. *Zrod nanokompozitních povlaků* [online]. © 2014 [cit. 2014-03-26]. Dostupné z WWW: <<http://www.cnckonstrukce.cz/clanek-118/20-let-vyvoje-prumyslovych-pvd-technologie.html>>.
- [5] NANOREN. *Vlastnosti povrchů a jejich ovlivňování pomocí nano-vrstev* [online]. © 2014 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z WWW: <[http://www.nanoren.cz/index.php?page=i\\_vyuziti](http://www.nanoren.cz/index.php?page=i_vyuziti)>.
- [6] NANOCON. *Vývojové trendy v použití ochranných povlaků* [online]. © 22. 10. 2009 [cit. 2014-04-12]. Dostupné z WWW: <[http://www.nanocon.eu/files/proceedings/nanocon\\_09/Lists/Papers/089.pdf](http://www.nanocon.eu/files/proceedings/nanocon_09/Lists/Papers/089.pdf)>.
- [7] VUTBR. *Analýza napětí a vznik trhlin v tvrdých velmi tenkých povlacích* [online]. ©2014 [cit. 2014-04-17]. Dostupné z WWW: <[http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz\\_soubor.php?id=645](http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=645)>.
- [8] SANDSYSTEM. *Barevné křemičité písky* [online]. ©2014 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.sandsystem.cz/vyroby/barevne-kremicite-pisky/?lng=cs>>.

- [9] ABRANOVA . *Ocelový a nerezový tryskací materiál* [online]. ©2014 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.abranova.cz/ocelovy-a-nerezovy-tryskaci-material/nerezovy-tryskaci-material-/zinkovy-sekany-drat.htm>>.
- [10] POVRCHOVEUPRAVY. *Optimální omílení pracoviště pro malé a střední firmy* [online]. ©2014 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.povrchoveupravy.cz/2007-02-clanek04.html>>.
- [11] MODERNI-NARADI. *Drátěný ocelový kartáč* [online]. ©2014 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.moderni-naradi.cz/prislusenstvi/dratene-kartace/drateny-ocelovy-kartac-pro-metabo-se-12-115-100-x-70-mm-%28id-623501000%29.html>>.
- [12] MICRONPLUS. *Brousící kotouče z abrazivního rouna (scotch-brite)* [online]. ©2014 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.micronplus.cz/lamelove-kotouce-z-brusneho-rouna-scotch-brite>>.
- [13] KONTROLA JAKOSTI. [online]. [cit. 2012-10-30]. Dostupné z WWW: <[http://www.kmm.zcu.cz/Blahova/CDPOU/content/data/cviceni\\_4.pdf](http://www.kmm.zcu.cz/Blahova/CDPOU/content/data/cviceni_4.pdf)>.
- [14] ČSN ISO 8502-3 : *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání*. Praha: Český normalizační institut, Srpen 1999. 12 s.
- [15] TICHÁ, Š.: *Strojírenská metrologie: část 1*. VŠB - TU Ostrava: [s. n.], 2008.112 s, ISBN 978-80-248-0671-6.

- [16] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) Struktura povrchu: Profilová metoda Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [17] ČSN EN ISO 9227. *Korozní zkoušky v umělých atmosférách zkoušky solnou mlhou*. Praha: Český normalizační institut, Březen 2007. 24 s.
- [18] MOHYLA, Miroslav. *Koroze a povrchové úpravy kovů ve strojírenství*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1981. ISBN 163393-7317/81.
- [19] ČSN EN ISO 4628-3. *Nátěrové hmoty Hodnocení degradace nátěrů Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzita jednotných změn vzhledu Část 3: Hodnocení stupně prorezavění*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [20] ČSN EN ISO 4628-2. *Nátěrové hmoty Hodnocení degradace nátěrů Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování*. Praha: Český normalizační institut, 2004.